

### Abstract

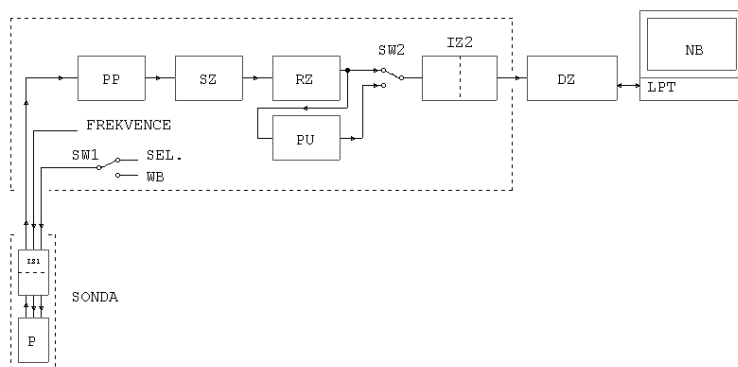
This work describes the first extensive results of the shape and frequency investigations of the natural electromagnetic waves measured at slope deformations in greater detail. The results of this study have shown that the large part of the investigated field is created by the components that don't belong to natural fields according to the classical geophysical dividing. In fact they are spurious signals due to the associated effects connected with the broadcast of various types of the anthropogenic electromagnetic signals. The authors of this paper have succeeded in discovering signals that can't be unambiguously reported to be the responses of man-made electromagnetic fields.

**Key words:** natural electromagnetic field, frequency study

### Úvod

Největším problémem metody „elektromagnetických emisí“ je jejich rozeznání od celkového „přírodního vysokofrekvenčního elektromagnetického pole“. Vyřešení tohoto problému je „nutnou podmínkou, nikoli však postačující“ pro běžné provozní používání této metody. Uvedené problematice jsme se začali věnovat v loňském roce, kdy jsme také publikovali na této konferenci první výsledky. Abychom čtenářům tohoto příspěvku usnadnili orientaci v problému, dalších šest odstavců a jeden obrázek je kopií úvodu našeho loňského příspěvku.

Pro možnost sledování charakteru přírodního elektromagnetického pole byl vyvinut jednoduchý experimentální přijímač s optickým oddělením obvodů sondy, který umožňuje zaznamenávat spektra signálů VEP v rozsahu 10 kHz až 20 kHz. Jeho frekvenční charakteristika je totožná s charakteristikou aparatury používanou ve firmách Geotest Brno a Senzor Bratislava pro běžná terénní měření.



**Obr.1** Blokové schéma experimentálního přijímače PVEP.

Blokové schéma experimentálního přijímače a záznamového zařízení je na obrázku 1. Přijímač sestává ze sondy a zesilovacích a detekčních obvodů na povrchu (ve šrafovaném obdélníku).

<sup>1</sup> Ing., CSc., Ústav geoniky AV ČR, Studentská 1768, Ostrava, knejzlik@ugn.cas.cz

<sup>2</sup> Doc. RNDr., DrSc., GEOTest Brno, a.s., 28. října 287, Ostrava, blaha@geotest.cz

K výstupu zesilovacích a detekčních obvodů je připojeno digitalizační zařízení DZ a notebook NB pro záznam dat. Na rozdíl od FJV99 je přijímač konstruován jako přeladitelný v pásmu 10 – 20 kHz a umožňuje také širokopásmový (WB) příjem signálů v tomto pásmu. Amplitudová charakteristika je lineární, aby byly lépe analyzovatelné amplitudové fluktuace signálu.

V sondě je umístěna feritová anténa a bateriově napájený předzesilovač P, který je od vedení oddělen izolačním zesilovačem IZ1. Ze sondy prochází přes IZ1 přijatý signál a zpět do sondy ladící napětí (FREKVENCE) a logický signál z přepínače SW1 pro přepínání režimů selektivního (SEL) nebo širokopásmového (WB) příjmu. Aby byla zaručena co nejvyšší shoda naměřených parametrů PVEP s údaji aparatury FJV99, je v sondě použita stejná feritová anténa s činitelem jakosti  $Q = 14,5$ . Jako ladící kapacita je v rezonančním obvodu feritové antény použita kapacitní dioda (varicap). V režimu WB se zesílení sondy zvýší Q-krát.

Na vstupu zesilovacích obvodů je zařazena pásmová propust 10 – 20 kHz (PP), realizovaná z dvoupólové hornofrekvenční a dolnofrekvenční propusti. Výstup PP je veden do selektivního zesilovače SZ a zesilovače s regulací zesílení RZ. Jako SZ se používá přeladitelný filtr Brüel+Kjaer Type 1621 na rozsahu 2 – 20 kHz. Tento filtr dovoluje nastavit tři průběhy frekvenční charakteristiky: lineární, 23 % – rezonanční obvod ( $Q = 4$ ) a 3 % - rezonanční obvod ( $Q = 33$ ).

Zesílení RZ je nastavováno potenciometrem se stupnicí (citlivost lze kalibrovat zpětně). Zesilovací obvody jsou od DZ a NB odděleny dalším izolačním zesilovačem IZ2. Přepínačem SW2 lze do vstupu výstupního izolačního zesilovače IZ2 přepnout přímo střídavý (AC) signál nebo usměrněný (DC) signál z výstupu přesného usměrňovače PU. Obvody zesilovací části přijímače jsou napájeny z vlastního akumulátoru a jsou uzemněny v blízkosti pažnice vrtu.

DZ a NB mohou být napájeny ze sítě nebo z jiného bateriového zdroje. Jako digitalizační zařízení používáme digitální osciloskop Velleman PCS500, který lze použít také jako jednoduchý spektrální analyzátor. Data jsou zaznamenávána a zobrazována pomocí programu Velleman Pc\_Lab2000. V režimu SEL je anténa sondy laděna kapacitní diodou. V režimu WB je ladící kapacita feritové antény odpojena a zesílení předzesilovače P zvýšeno Q-krát. Na SZ je nastavena lineární frekvenční charakteristika.

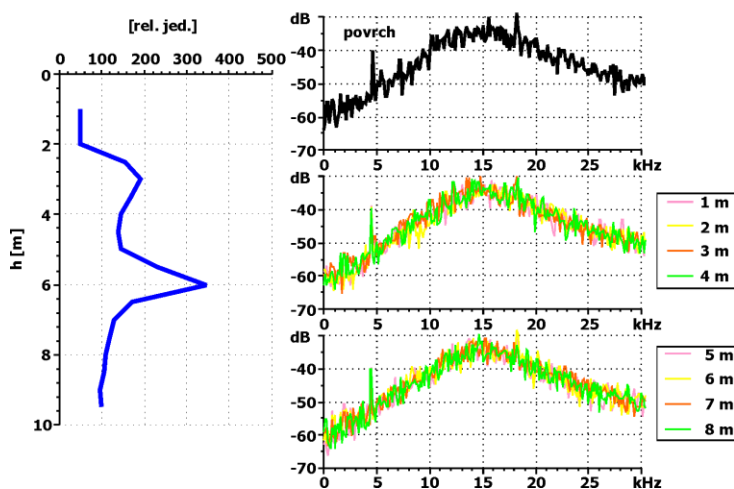
## **Výsledky spektrálních měření na sesuvech**

### ***Svahová deformace Orlová – Okružní***

Rozsáhlá svahová deformace aktivovala svůj pohyb po katastrofálních srážkách v roce 1997. Sesuv sanován kombinací terénních úprav, hloubkového i povrchového odvodnění a zajištění pomocí pilot. Svahová deformace postihla terciérní – miocéní sedimenty karpatské čelní předhlubně a kvartérní zeminy. Neogén je litologicky zastoupen zejména jílovce a jíly, s hojným podílem prachovitě a písčité složky. V jílech je častá vápnitá příměs, a tak místně vápnité jíly přecházejí do slínů a slínovců. Neogenní sedimenty budující vlastní svah jsou ve vrcholových částech Orlovské plošiny překryty komplexem glacienních sedimentů řazených k sálskému zalednění a sprašovými hlínami. Úbočí svahu je pokryto převážně svahovými hlínami proměnlivých mocností. Kvartérní sedimenty nivy tvoří terasové šterky, písky a náplavové hlíny.

Po sanaci byl sesuv dlouhodobě sledován a monitorovací práce byly ukončeny v roce 2004. Monitorovacím měřením byla potvrzena úspěšnost sanace. Monitoring byl tvořen rozsáhlým souborem metod, který poskytoval všechny potřebné údaje o chování horninového masívu. Při sledování sesuvu byly použity následující metody: přesná inklinometrie, pásmová extenzometrie, nivelační měření, sledování hladiny podzemní vody a vizuální kontroly.

Spektrální analýzy byly na této lokalitě ve vrtu HV101 (kontrolní hydrovrt) sledovány s krokem jednoho metru. Výsledky měření jsou znázorněny na obrázku 2. Podle naměřených výsledků je pravděpodobné, že anomálie pole PVEP v šesti metrech pod povrchem sesuvu je způsobena zvýšením úrovně signálu na frekvenci 18,25 kHz. Původ této anomálie lze zřejmě přičíst na vrub některému z vysílačů VDV.



Obr.2 Sesuv Orlová – Okružní, vrt HV101.

#### *Svahová deformace Orlová – Studánka*

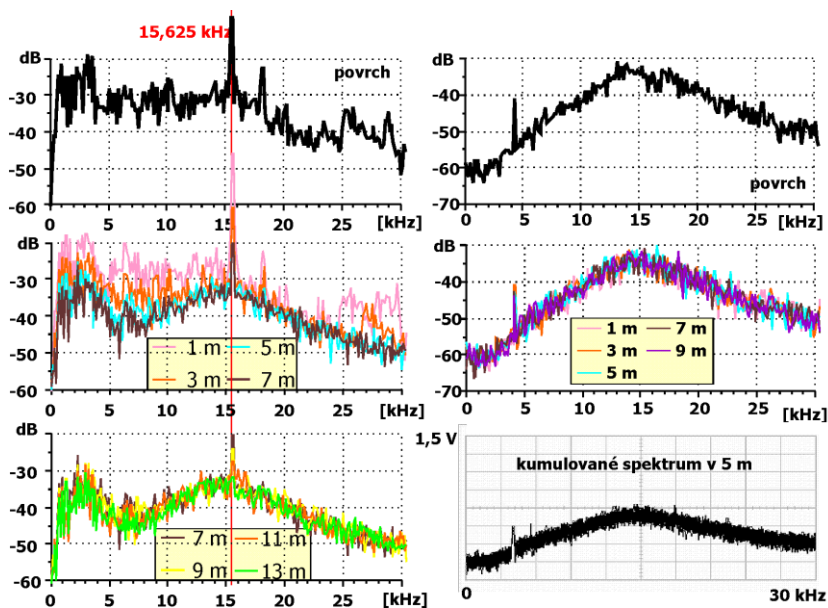
Lokalita se nachází na okraji ploché pahorkatiny s erozně akumulacním povrchem. Konfigurace terénu je podmíněna geologickou stavbou podloží a ovlivněna modelační a akumulací činností sálského ledovce, eolickou sedimentací a zejména říční erozí. Velká část svahů je postižena svahovými pohyby. Svahové deformace jsou různého tvaru, různého stáří a různé aktivity. Geologická stavba lokality je obdobná jako na svahové deformaci Okružní.

Sesuv, který ohrožoval sedmipodlažní panelovou zástavbu, byl sanován zasypáním erozní rýhy, na jejímž svahu v roce 1977 vznikl. Sesuv byl po sanaci sledován komplexem monitorovacích metod: přesnou inklinometrií, kontrolním měřením délek, deformometrickým měřením a vizuálními kontrolami. Obdobně jako na sesuvu Okružní i zde byly spektrální analýzy ve vrtu PIM2 (inklinometrický vrt) sledovány s krokem jednoho metru. Výsledky měření jsou znázorněny na levé části obrázku 3, kde jsou však zobrazována spektra s krokem dvou metrů.

Na obrázku 3 je jednoznačné rušení na frekvenci 15,625 kHz, což je řádkovací frekvence televizorů. Je velmi dobře patrné, že nejvýraznější je toto rušení na povrchu, a že rušení je hloubkou silně utlumováno. V hloubkách pod pět metrů je již o cca 10 dB menší. Pokles rušení na všech frekvencích je patrný od povrchu do hloubky sedmi metrů. Pak nejsou změny ve velikosti pole již tak výrazné. V levé části obrázku 3 je patrné, že pokles pole je celkem rovnoměrný, i když určitou změnu tvaru křivky je možné v hloubce mezi čtyřmi a pěti metry nalézt. Podle inklinometrických měření v tomto vrtu, byla smyková plocha interpretována ve 4,5 metrech. V době před sanací byla v horninovém masívu postiženém sesouváním zjištěna zvýšená úroveň pole PVEP.

#### *Svahová deformace Ujala I*

Lokalita se nachází na rozhraní severovýchodního okraje orlovské plošiny a ostravské nivy (niva Olše s jejím levostranným přítokem – Karvinským potokem). Kontakt těchto dvou základních morfologických fenoménů tvoří svah, místy s výrazným, poměrně strmým sklonem dosahujícím ojediněle až 45°. Generelní úklon svahu je k východu, tj. do nivy Olše. Tvar terénu je podmíněn geologickou stavbou podloží a ovlivněn modelační a akumulací činností sálského ledovce, eolickou sedimentací a zejména říční erozí. Velká část svahů orlovské plošiny je postižena svahovými pohyby. Deformace jsou různého tvaru, různého stáří a různé aktivity.



Obr.3 Sesuv Orlová – Studánka, vrt PIM2 a Doubrava – Ujala I, vrt PIM22.

Karbonský reliéf, modelovaný starou erozí, vyplňují terciérní – miocénní sedimenty karpatské čelní předhlubně mocné až 700 metrů. Litologicky jsou zastoupeny zejména jílovce a jily, s hojným podílem prachovité a písčité složky. Častá je v jílech vápnitá příměs, a tak místně vápnité jily přecházejí do slínů a slínovců. Neogenní sedimenty budující vlastní svah jsou ve vrcholových částech orlovské plošiny překryty komplexem glacienních sedimentů řazených k sálskému zalednění a sprašovými hlínami. Úbočí svahu je pokryto převážně svahovými hlínami proměnlivých mocností. Kvartérní sedimenty nivy tvoří terasové šterky, písky a náplavové hlíny.

Sesuv byl sanován odvodněním pěti horizontálními vrty (HOV) a povrchovými úpravami, které silně omezily zasakování dešťových vod do horninové masívu. Před sanací během ní i po jejím skončení byl sesuv monitorován. Svahová deformace byla sledována širokým souborem monitorovacích metod: přesná inklinometrie, pásmová extenzometrie, nivelační měření, klasické geodetické polohopisné měření včetně vlivů poddolování, sledování hladiny podzemní vody a velikosti odtoků z HOV a vizuálními inženýrskogeologickými kontrolami. Pro sledování funkčnosti HOV bylo použito televizní kamery, která byla protahována vrty podél celé jejich délky.

Obdobně jako na orlovských sesuvech byly spektrální analýzy ve vrtu PIM22 (inklinometrický vrt) sledovány s krokem jednoho metru. Výsledky měření jsou znázorněny na pravé části obrázku, kde jsou však zobrazována spektra s krokem dvou metrů až do hloubky devíti metrů. Na spektrech pole PVEP, a to jak na povrchu, tak i v hloubkách do devíti metrů je velmi dobře patrné rušení na frekvenci okolo 4,5 kHz. Rušení na této frekvenci jsme zaznamenali i na lokalitě Okružní. Na sumačním spektru je patrná i frekvence 18,25 kHz, která pravděpodobně odpovídá vysílači VDV.

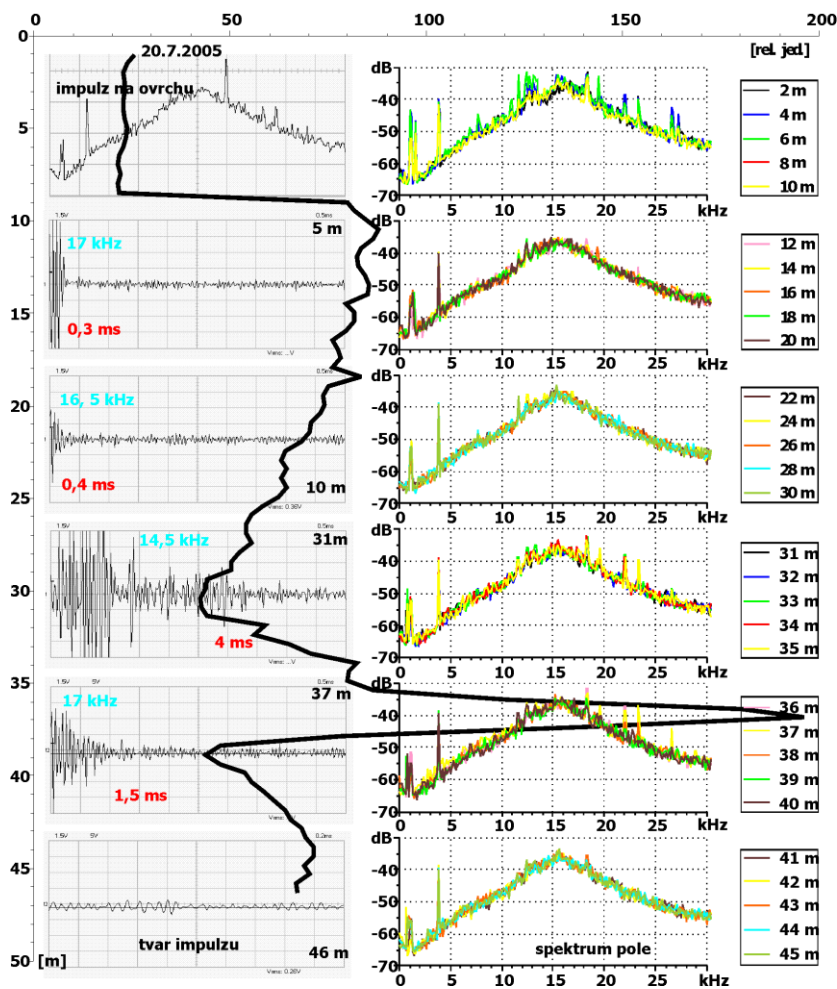
#### **Svahová deformace Karolínka**

Svahová deformace Karolínka – sklárny se nachází na levém údolním svahu řeky Vsetínské Bečvy nad sklárnami v Karolíně. Předkvartérním podkladem horského hřbetu mezi údolím Vsetínské Bečvy a Stanovnice jsou zlínské vrstvy magurského flyše. Jílovce případně prachovce, které jsou vesměs vápnité, se nepravidelně střídají s polohami vápnitého, slabě glaukonitického

pískovce. Podíl pískovců k jílovcům je zhruba 1 : 6. Flyšové vrstvy probíhají v generálním směru JZ – SV s převládajícím sklonem k SZ. Jsou zvrásněny a proto je jejich sklon proměnlivý od 20 do 75°. Do údolí Vsetínské Bečvy jsou skloněny okolo 25° a zapadají zhruba ve sklonu svahu.

Příznivou geologickou i morfologickou situací je dána dispozice pro vznik konsekventního sesuvu. Směrné tektonické poruchy zřejmě ovlivnily rozpad sesuvu do několika ker. Celková délka sesuvu je okolo 300 metrů a šířka asi 500 metrů. Plocha svahu, která je postižena deformací činí cca 11 ha. Při uvažované střední hloubce smykové plochy cca 55 metrů vychází objem sesouvajících se hornin na 6 milionů m<sup>3</sup>.

Obr.4 Sesuv Karolinka, vrt J311.



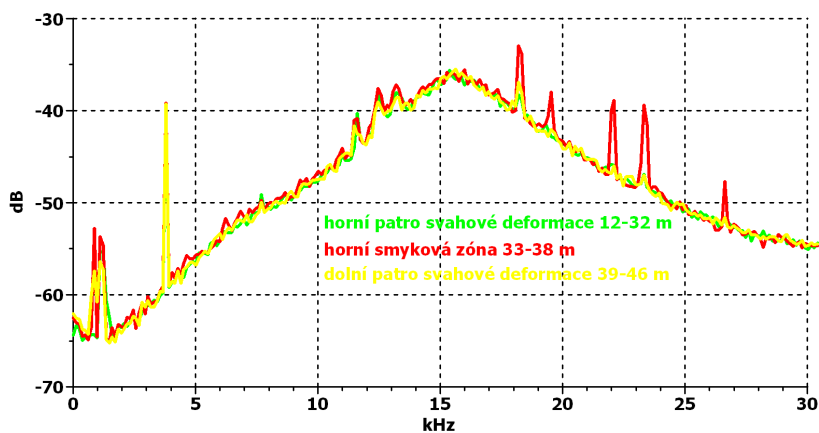
Ve svahové deformaci nad sklápnutými probíhaly v minulosti následující monitorovací práce: geoakustické měření, inklinometrické měření, sledování hladiny a chemizmu podzemní vody, měření

odtoků vody z horizontálních odvodňovacích vrtů a sledování její čírosti, povrchová geodetická měření, pásmová extenzometrie, geologické vizuální sledování. Výsledky monitoringu chemického složení podzemních vod, vedle průkazné hydraulické spojitosti zvodněného systému mezi povrchovou vodou ve vodní nádrži a podzemní vodou v horninách širší oblasti svahových deformací, indikovaly i hmotnostní spojitost podzemních vod v sesuvné oblasti s vodami ve vodní nádrži.

Na obrázku 4 je spektrální analýza elektromagnetických impulzů z vrtu J311, která je doplněna průběhem změn PVEP podél osy vrtu, který je zobrazen přes celý graf. Významná anomálie pole PVEP se nachází v hloubce 37 metrů. Frekvenční analýza nebyla zjišťována s pravidelným krokem jako na předchozích lokalitách, ale místa měření byla volena podle geologické stavby svahu. Na frekvenčních spektrech elektromagnetického pole vidíme silné rušení na frekvencích do 5 kHz. To je zřejmě opět způsobeno rušením vlastní aparaturou – pík na frekvenci cca 4 kHz a výrazné rušení v pásmu do 3 kHz je způsobeno zřejmě harmonickými frekvencemi elektrické sítě.

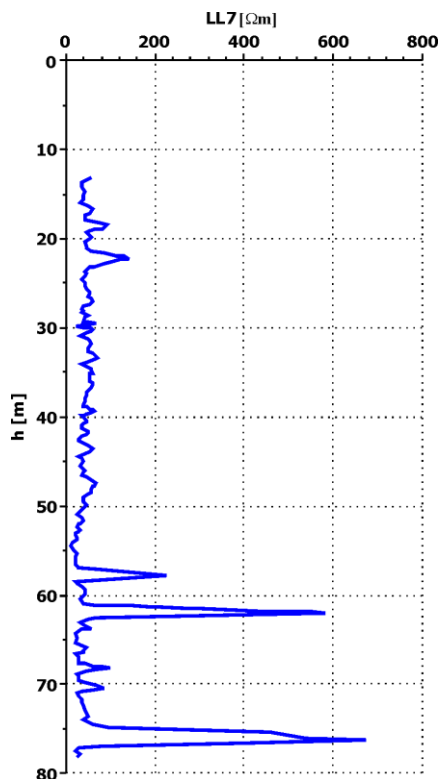
Na měřeních v těsné blízkosti povrchu jsou patrné četné píky v pásmu frekvencí od 11 do 27 kHz. Ty do hloubky horninového masívu mizí a v hloubkách do 32 metrů registrujeme pouze základní elektromagnetický šum, vyjma jediné frekvence cca 11 kHz, a to pouze v hloubce 30 metrů. V hloubkovém intervalu 33 až 38 metrů se objevují výrazné píky na frekvencích 18 – 24 kHz. Ve větších hloubkách tyto píky opět mizí. Původ píků můžeme spatřovat v „zanesení“ elektromagnetického rušení do horninového masívu ocelovou pažnicí odvodňovacího vrtu. Ta leží v horninovém masívu v těsné blízkosti vrtu a nalézá se pravděpodobně v hloubce odpovídající poloze horní smykové plochy svahové deformace, tj. v hloubce okolo 33 metrů. Druhým důvodem může být generování elektromagnetických emisí při porušování nebo namáhání křehkých pískovců.

V levé části obrázku 4 jsou ukázky tvarů některých zaregistrovaných elektromagnetických impulzů. Vidíme, že elektromagnetické impulzy mají různý charakter, od jednotlivých píků přes průběh s pozvolným nárůstem a následným pozvolným poklesem amplitudy až po sérii několika elektromagnetických impulzů jdoucích těsně za sebou. Takovéto série se skládají z dílčích impulzů různých tvarů i různých frekvencí. Obecně je možné říci, že charakter elektromagnetických impulzů je podobný impulzům geokustickým.



**Obr.5** Sesuv Karolinka, vrt J311, průměrná spektra v horním a dolním patře sesuvu a v horní smykové zóně.

Na obrázku 5 jsou znázorněny průměrné hodnoty spekter ve vrstvách, které mají vztah ke



geologické stavbě svahu. Již na první pohled je patrné, že se výrazně vyděluje frekvenční spektrum z vrstvy smykové plochy a jejího podloží. Vzhledem k tomu, že anomálie PVEP i odlišné frekvence pole leží nížeji než ocelová pažnice horizontálního odvodňovacího vrtu, je ještě obtížnější hledat jednoznačné vysvětlení tohoto jevu. Hlubkový tvar anomálie PVEP i existence anomálních frekvencí svádí k myšlence, že se jedná o polohu, ve které jsou generovány elektromagnetické emise. Autoři tohoto článku to však jako jednoznačný důkaz nespátřují a pokládají za nutné pokračovat v experimentálních pracích. Určitou naději podle našeho názoru spatřujeme v souběžném sledování charakteru elektromagnetického pole na povrchu a ve zkoumané hloubce horninového masívu.

Pro dokreslení vlastností horninového masívu uvádíme na obrázku 6 křivku laterologu, kterou ve vrtu J304 změřil dr. Valtr v době hloubení těchto vrtů (1976). Obdobné křivky byly naměřeny i v ostatních vrtech v čelní části svahové deformace. Křivky LL7 ukazují, že změna vodivosti horninového prostředí nemůže působit změny v rozložení vysokofrekvenčního elektromagnetického pole ve zkoumaném horninovém masívu. Bohužel, v současné době není k dispozici sonda indukční karotáže, která by dovolila zjistit vodivost v masívu v současné době.

**Obr.6** Křivka LL7 ve vrtu J304.

## Závěr

Předkládaný článek podává informace o frekvenčních studiích, které sledovaly charakter přirozeného vysokofrekvenčního elektromagnetického pole ve svahových deformacích. Článek popisuje výsledky prací, které byly dosaženy v letech 2005 a 2006. V článku uváděné poznatky byly získány při řešení úkolů „PVEP a jeho využití při sledování svahových deformací“ a „VEP – rozložení pole ve svahových deformacích“. Oba úkoly byly řešeny z prostředků Ministerstva životního prostředí. Při sestavování článku byly použity i materiály hrazené z jiných zdrojů, byly to především výsledky zjištěné při průzkumu, sanování a monitorování sesuvů III. kategorie a z prostředků firem GEOTest Brno, a.s., Ústav geoniky AV ČR a SENZOR Bratislava.

Výsledky uskutečněných frekvenčních analýz elektromagnetických polí uskutečněných v rámci těchto studií potvrzují domněnku, že elektromagnetické emise existují, ale nelze ji brát jako zcela prokázanou. Za rozhodující důkaz považujeme nalezení takových frekvencí elektromagnetické pole uvnitř svahové deformace, které jsme nezjistili ani na povrchu ani hlouběji v horninovém masívu. Na základě provedených měření se zdá být pravděpodobným, že elektromagnetické emise se budou vyskytovat v horninových masívech, jejichž část budou tvořit horniny, které se při namáhání křehce porušují. Zkoumání přirozených elektromagnetických polí je daleko složitější záležitostí, než se v počátku použití této metody zdálo. Základní otázkou zůstává, jak rozlišit vlastní přirozené elektromagnetické emise od rušivých polí vzdálených vysílačů a jiných zdrojů elektromagnetického

rušení. Některá rušení bude možné u dalších generací aparatur odstranit buď digitálními filtry, nebo použitím světlovodů na místo klasické kabeláže.

Autoři tohoto článku se domnívají, že studiu problému elektromagnetických emisí by stálo za to se věnovat i v budoucnu. V počátcích takovýchto prací je však potřebné počítat s tím, že tyto práce by měly spíše charakter základního nebo badatelského výzkumu než výzkumu aplikovaného. Za nejdůležitější považujeme pokračovat v hledání elektromagnetických emisí in situ a domníváme se, že pro takovou studii je potřebné sestavit takovou aparaturu, která by byla schopná měřit na dvou kanálech, a tak odlišovat, zda nalezený elektromagnetický impuls pochází z nitra horninového masívu, nebo zda je projevem indukce rušivých polí.

*Práce vznikla za podpory studie MŽP „Vysokofrekvenční elektromagnetické pole- rozložení pole ve svahových deformacích a dílčího výzkumného záměru ÚGN AV ČR „Studium vybraných fyzikálních polí a jejich projevů v horninovém masívu a observatorní činnost“.*

### **Literatura**

- [1] Bláha, P. et al. (2006): PVEP a jeho využití při sledování svahových deformací., Geotest, Brno, MS.
- [2] Bláha, P. et al. (2006): VEP – rozložení pole ve svahových deformacích., Geotest, Brno, MS.
- [3] Jaroševič, A. & Kundráčik (2004): Measurement of the natural high-frequency magnetic field (PEE) in the boreholes using the FJV99 selective picoteslameter. EGRSE XI. 1-2, 8-12, 2004.
- [4] Knejzlík, J. & Bláha P. (2006): problémy s měřením PVEP v zastavěných oblastech., In Sborním vědeckých pravi VŠB – ZU Ostrava, řada stavební, 2, ročník VI, s. 189-196.
- [5] Pralat, A., Maniak, K. & Pompura, I. (2005): Electromagnetic phenomena in Landslides. Acta Geodyn. Geomater., Vol.2, No.3 (139), 131-138, 2005.
- [6] [www.abem.com/products/wadi/vlf-freq.pdf](http://www.abem.com/products/wadi/vlf-freq.pdf)